

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DE  
CONCRETO**

**LUIZA NEIS RAMOS**

**ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE DE A. F. PEREIRA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM SISTEMAS  
CONSTRUTIVOS E MATERIAIS**

**BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO / 2014**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DE  
CONCRETO**

**LUIZA NEIS RAMOS**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**CLÁUDIO HENRIQUE DE A. F. PEREIRA, Dr (ENC-UnB)  
(ORIENTADOR)**

---

**PROFESSOR ELTON BAUER, Dr (ENC-UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**ELIANE KRAUS DE CASTRO, Dra (ENC-UnB)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 8 de Dezembro de 2014.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

RAMOS, LUIZA NEIS

Avaliação do Controle Tecnológico de Concreto 2014

viii, 52 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2014)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Controle Tecnológico

2. Concreto

3. Resistência do Concreto

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RAMOS, L. N. (2014). Avaliação do Controle Tecnológico de Concreto. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 52 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Luiza Neis Ramos

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Avaliação de Controle Tecnológico de Concreto

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2014

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Luiza Neis Ramos

SQN 115 Bloco I Apartamento 504

70772090 - Brasília/DF - Brasil

## **RESUMO**

# **AVALIAÇÃO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DE CONCRETO**

**Autor: Luiza Neis Ramos**

**Orientador: Cláudio Henrique de A. F. Pereira**

**Departamento de Engenharia Civil e Ambiental**

**Brasília, 20 de agosto de 2014**

Enquanto o mercado da construção civil ganhou expressão no cenário nacional, cresceram as exigências do consumidor final em relação à qualidade dos produtos oferecidos. Uma das variáveis que influencia na qualidade das edificações é a qualidade do material empregado em sua construção, nesse caso, o concreto. Essa qualidade é verificada por meio de ensaios que determinam, principalmente, sua consistência e sua resistência à compressão. A essa verificação damos o nome de controle tecnológico de concreto. A partir dos resultados de ensaios de resistência à compressão do concreto e sua comparação com especificações normativas, foi feito um estudo experimental sobre o controle tecnológico de concreto realizado em uma obra do Distrito Federal. Além disso, foi feita uma comparação entre resultados fornecidos por diversos laboratórios após ensaiarem o mesmo material. Conta-se com três amostragens distintas que permitiram avaliar os aspectos: rotina de recebimento e aceitação inicial do concreto na obra, confiabilidade dos resultados obtidos a partir da comparação com outros laboratórios do Distrito Federal, avaliação da variabilidade referente ao processo de moldagem dos corpos de prova, avaliação da variabilidade referente ao processo de produção do concreto utilizado e, por fim, avaliação do critério de aceitação final do concreto. Para estudo desses aspectos foram utilizadas como referências normas nacionais e internacionais, bem como a literatura clássica sobre o assunto discutido.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVO .....	2
1.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1	ESPECIFICAÇÕES DO CONCRETO .....	4
2.1.1	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO.....	4
2.1.2	RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO .....	6
2.1.3	DIÂMETRO MÁXIMO DO AGREGADO GRAÚDO.....	8
2.1.4	CONSISTÊNCIA .....	9
2.1.5	OUTRAS ESPECIFICAÇÕES.....	12
2.2	LANÇAMENTO E ADENSAMENTO DO CONCRETO .....	16
2.3	CURA DO CONCRETO .....	17
2.4	ACEITAÇÃO DO CONCRETO .....	17
2.5	DESVIO PADRÃO REFERENTE À PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	18
2.6	DEFINIÇÃO DA AMOSTRA DE CONTROLE DE RECEBIMENTO .....	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>21</b>
3.1	ESCOLHA DA OBRA.....	22
3.1.1	DESCRIÇÃO DA OBRA.....	22
3.2	IDENTIFICAÇÃO DO “CONCRETO PADRÃO” .....	23
3.3	AVALIAÇÃO DA ROTINA DE RECEBIMENTO DO CONCRETO .....	23
3.4	AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO “CONCRETO PADRÃO” .....	24
3.4.1	DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE REFERENTE AO PROCESSO DE MOLDAGEM .....	25
3.5	AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DO “CONCRETO PADRÃO” .....	26
3.6	PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	27
3.7	ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
4.1	AVALIAÇÃO DA ROTINA DE RECEBIMENTO DO CONCRETO .....	35

<b>4.2</b>	<b>RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO PADRÃO....</b>	<b>36</b>
4.2.1	PRIMEIRA MOLDAGEM.....	36
4.2.2	SEGUNDA MOLDAGEM.....	38
<b>4.3</b>	<b>RESULTADOS DO ESTUDO REFERENTE À VARIABILIDADE DE MOLDAGEM</b>	<b>41</b>
<b>4.4</b>	<b>VARIABILIDADE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO “CONCRETO PADRÃO”</b>	<b>42</b>
<b>4.5</b>	<b>AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO FINAL DO CONCRETO .....</b>	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>48</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Equipamentos utilizados no ensaio de abatimento do tronco de cone (COUTINHO, 2003). .....	10
Figura 2.2. Passos para realização do ensaio de abatimento do tronco de cone (FONTE: modificado de MEHTA e MONTEIRO, 2014). .....	11
Figura 3.1. Fluxograma de atividades do programa experimental. ....	21
Figura 3.2. Molde utilizado para produção dos corpos de prova. (Fonte: SOLOCAP) .....	29
Figura 3.3. Concha utilizada no ensaio de abatimento e na produção dos corpos de prova. (Fonte: SOLOCAP) .....	29
Figura 3.4. Prensa de ensaio utilizada no LEM UnB. ....	31
Figura 4.1. Resistências à compressão referentes à primeira moldagem. ....	37
Figura 4.2. Resistências à compressão da segunda amostra. ....	39
Figura 4.3. Resultados referentes à variabilidade de moldagem. ....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118:2014).....	7
Tabela 2.2 - Correspondências entre classe de agressividade ambiental e qualidade do concreto (ABNT NBR 12655:2006) .....	7
Tabela 2.3. Abertura nominal das peneiras utilizadas em ensaios de agregados. (ABNT NBR 7211:1009) .....	8
Tabela 2.4. Tipos de cimentos Brasileiros e descrições. ....	14
Tabela 2.5. Classificação do controle de concretos segundo ACI 214:1989. (Fonte: NEVILLE, 1997, modificado) .....	19
Tabela 2.6. Valores, limites máximos, para a formação de lotes de concreto (Fonte: ABNT NBR 12655:2006) .....	19
Tabela 3.1. Intervalo de confiança correspondente a uma probabilidade de 90% de ocorrência, em função do tamanho da amostra, para um desvio padrão, $s_d = 4$ MPa, adotado na dosagem. (FONTE: HELENE e TERZIAN, 1992).....	26
Tabela 3.2. Coeficiente $d_2$ (FONTE: ABNT NBR 5739:2007).....	34
Tabela 3.3. Classificação do ensaio de acordo com o coeficiente de variação. (FONTE: ABNT NBR 5739:2007) .....	34
Tabela 4.1. Resultados de ruptura da primeira amostragem. ....	37
Tabela 4.2. Classificação do ensaio segundo ABNT NBR 5739:2007.....	38
Tabela 4.3. Resultados de ruptura da segunda amostragem.....	39
Tabela 4.4. Classificação do ensaio segundo ABNT NBR 5739:2007.....	40
Tabela 4.5. Resultados de ruptura da terceira moldagem, referente ao estudo de variabilidade de moldagem. ....	41
Tabela 4.6. Resistência característica à compressão para verificação da conformidade do "concreto padrão" da obra. ....	43
 Tabela A 1. Características dos corpos de prova referentes à primeira amostragem.....	 50
Tabela A 2. Características dos corpos de prova referentes à segunda amostragem. ....	50
Tabela A 3. Características dos corpos de prova referentes à variabilidade de moldagem. ....	51



# 1 INTRODUÇÃO

A expansão do setor da construção civil e o aumento das exigências do consumidor contribuíram para o desenvolvimento de novas tecnologias ligadas ao controle de qualidade. Acredita-se que o surgimento do Código de Defesa do Consumidor, criado no ano de 1990, trouxe a necessidade, não apenas na construção civil, de maior controle de qualidade dos materiais e produtos. Nesse sentido, coloca-se que um dos materiais mais importantes na construção civil é o concreto, e seu desempenho pode sofrer muitas variações, causadas por influências externas e internas com graves consequências e, por essa razão, necessita de atenção especial. Levando-se em consideração que falhas no processo de produção desse material podem levar ao colapso de uma edificação, este é um dos materiais mais ensaiados e controlados na construção civil.

Para avaliar o concreto utilizado na construção civil, a empresa responsável pela execução da obra costuma contratar os serviços de um laboratório de controle tecnológico de concreto. Isso significa fazer a verificação, por meio de ensaios, das características do concreto aplicado na obra e tem o intuito de garantir a qualidade do material empregado.

O concreto é um material que, quando submetido a carregamentos, sofre vários tipos de esforços, sendo a compressão o mais significativo deles, por isso a análise de sua resistência à compressão permite avaliação do desempenho desse material nas edificações. Esse parâmetro é utilizado devido à simplicidade do processo de moldagem e ensaio dos corpos de prova e também por ser relacionado a diversas propriedades do material (NEVILLE e BROOKS, 2013). A resistência à compressão é, ainda, o principal parâmetro utilizado no controle tecnológico de concreto estrutural (HELENE e TERZIAN, 1993).

Na ocasião da concretagem são feitas duas verificações para cada caminhão betoneira: conferência das características da mistura na nota fiscal e ensaio de abatimento do tronco de cone, para verificação da consistência. Após comprovar conformidade do material nos dois critérios, começa a aplicação do concreto e moldagem dos corpos de prova, que são levados até o laboratório e submetidos a ensaios para verificação de resistência, conforme solicitado pela empresa responsável pela execução da obra. Qualquer não conformidade na resistência do material é estudada de forma a se realizar medidas corretivas. Desta forma, ressalta-se que a confiabilidade do laboratório é essencial à qualidade do trabalho realizado pela empresa executora da obra.

## **1.1 OBJETIVO**

O presente trabalho tem como objetivo principal a realização de um estudo experimental do controle tecnológico do concreto, de uma obra localizada no Distrito Federal (Lago Norte, Brasília-DF), no que diz respeito aos procedimentos relativos à sua aceitação: ensaios para determinação da resistência à compressão do concreto.

### **1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Como objetivos específicos lista-se os seguintes pontos:

- Identificar qual é o concreto mais utilizado na execução do sistema estrutural (maior volume) da obra escolhida para realizar essa pesquisa (estudo de caso): Nessa pesquisa esse concreto será denominado “concreto padrão”;
- Avaliar a rotina de recebimento do concreto usinado realizada pelo laboratório de controle tecnológico contratado pela obra;
- Analisar os resultados dos ensaios de determinação da resistência à compressão do “concreto padrão” recebido pela obra para a execução do sistema estrutural: avaliação da conformidade do concreto fornecido pela empresa contratada (concreteira); e

- Comparação dos resultados dos ensaios, em duas datas distintas, para determinação da resistência à compressão aos 28 dias, realizados em 09 laboratórios: o laboratório que realiza regularmente o controle tecnológico nesta obra, o laboratório da Universidade de Brasília (LEM/UnB) que servirá como referência e em outros sete laboratórios que realizam controle tecnológico do concreto no Distrito Federal.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Coloca-se que o concreto é um material constituído de cimento, água, agregado(s) miúdo (areia), agregado(s) graúdo (brita) e aditivos. O cimento misturado à água forma a pasta, massa que aglomera todos os constituintes do concreto e que fornece a rigidez e resistência do material. A pasta misturada ao agregado miúdo forma a argamassa. Ao unir o agregado graúdo a essa mistura tem-se o concreto simples. Inicialmente essa pasta, bem como o concreto, apresenta consistência fluida e é facilmente moldável. Após determinado tempo ela passa pelos processos de endurecimento e enrijecimento, tornando-se um corpo sólido e muito resistente (HELENE e TERZIAN, 1993).

### **2.1 ESPECIFICAÇÕES DO CONCRETO**

O controle de qualidade desse material (concreto) é realizado em vários momentos diferentes: antes da mistura é realizado o controle tecnológico dos seus materiais constituintes, no recebimento são verificadas as especificações dos materiais constituintes do concreto e das características da mistura ainda fresca e, por fim, verifica-se as características do concreto endurecido, principalmente a resistência à compressão. Ressalta-se que esse último é o principal objeto de estudo deste trabalho.

Ao se realizar uma compra de concreto, a empresa executora da obra deve solicitar, conforme consta no projeto estrutural, algumas especificações do material a ser entregue: resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ), relação água/cimento máxima, diâmetro máximo do agregado graúdo e a consistência (abatimento). Cada um desses parâmetros está descrito a seguir:

#### **2.1.1 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO**

Segundo ABNT NBR 6118:2014 o  $f_{ck}$  é a resistência característica à compressão do concreto, onde a letra “f” significa resistência, a letra c, concreto e a letra “k” se refere a um

valor característico. Esse é o parâmetro utilizado na fase do dimensionamento da estrutura e fornece a classe do concreto de acordo com ABNT NBR 8953:2009. Um concreto com  $f_{ck}$  igual a 35 MPa pertence à classe C35, por exemplo.

A resistência característica utilizada no dimensionamento da estrutura se relaciona com a resistência à compressão obtida no ensaio de compressão dos corpos de prova padronizado pela ABNT NBR 5739:2007. É importante colocar que os corpos de prova utilizados para essa determinação são moldados segundo procedimento padronizado apresentado na norma ABNT NBR 5738:2003.

O valor do  $f_{ck}$  está associado a um valor de 95% de confiança. Isso significa dizer que, considerando-se toda a mistura do material, apenas 5% dela apresentaria valores de resistência abaixo do valor da resistência característica à compressão do concreto. A definição de  $f_{ck}$  considera que a produção do concreto seja homogênea e que suas amostras façam parte de uma distribuição normal. Esse valor é impossível de ser conhecido, pois seria necessário ensaiar toda a região (HELENE e TERZIAN, 1993).

Segundo a ABNT NBR 12655:2006, o valor de resistência à compressão medido nos ensaios dos corpos de prova se relacionam com o  $f_{ck}$  segundo a relação:

$$f_{cj} \geq f_{ck} + 1,65 sd$$

Onde:

$f_{cj}$  = maior resistência à compressão do concreto obtida a partir da ruptura dos corpos de prova a 28 dias de idade;

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto, como já definida;

$sd$  = desvio padrão de dosagem.

Em casos onde o desvio padrão é desconhecido, deve-se adotar um valor para essa grandeza. Segundo ABNT NBR 12655:2006, o parâmetro  $sd$  deve ser adotado de acordo com as condições de preparo do concreto. Essa pode ser condição A, B ou C, sendo a Condição A a única que se aplica a este trabalho, pois se aplica às classes de C10 a C80. As condições de preparo são descritas da seguinte maneira:

- Condição A:
  - Classes C10 a C80: o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados. Para essa condição de preparo o desvio padrão adotado é de 4,0 MPa;
- Condição B:
  - Classes C10 até C25: o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume e os agregados em massa combinada ao volume. Para essa condição de preparo o desvio padrão adotado é de 5,5 MPa;
  - Classes C10 até C20: o cimento é medido em massa, a água de amassamento medida em volume e os agregados medidos em volume, onde a umidade dos agregados miúdos deve ser medida três vezes durante o turno de concretagem e a sua quantidade deve ser corrigida de acordo com a curva de inchamento. Para essa condição de preparo o desvio padrão adotado é de 5,5 MPa;
- Condição C:
  - Classes C10 a C15: o cimento é medido em massa, os agregados em volume e a água de amassamento em volume, devendo ser corrigida de acordo com a estimativa de umidade dos agregados e a determinação da consistência do concreto. Para essa condição de preparo o desvio padrão adotado é de 7,0 MPa.

### **2.1.2 RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO**

A relação água cimento é a proporção entre as quantidades desses dois constituintes também está especificada no projeto estrutural e trata-se de um limite máximo que deve ser respeitado. Essa relação depende do nível de agressividade ambiental ao qual a edificação será exposta. A Tabela 2.3 mostra as classes de agressividade ambiental e a Tabela 2.4 fornece a relação entre a classe do concreto, a classe de agressividade ambiental e a relação água cimento para elementos estruturais de concreto armado (CA) e de concreto protendido (CP).

**Tabela 2.1. Classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118:2014).**

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito Forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

Notas: 1) Pode-se admitir um microclima com classe de agressividade um nível mais branda para ambientes internos secos. 2) Pode-se admitir uma classe de agressividade um nível mais branda em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou em regiões onde chove raramente. 3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

**Tabela 2.2 - Correspondências entre classe de agressividade ambiental e qualidade do concreto (ABNT NBR 12655:2006)**

Concreto	Tipo	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento por metro cúbico de concreto Kg/m <sup>3</sup>	CA e CP	$\geq 260$	$\geq 280$	$\geq 320$	$\geq 360$

A relação a/c afeta diretamente a resistência do material e sua durabilidade. Quanto maior for essa relação (água/cimento), menor a resistência e maior é a sua durabilidade. Por essas razões, após os ensaios do concreto e moldagem de corpos de prova não se deve adicionar água ou outros materiais à mistura.

Esse parâmetro também influencia a trabalhabilidade do concreto fresco, porém indiretamente. A consistência da mistura é influenciada diretamente pela relação entre materiais secos e água.

### 2.1.3 DIÂMETRO MÁXIMO DO AGREGADO GRAÚDO

Diâmetro máximo do agregado, ou dimensão máxima característica do agregado, corresponde à abertura nominal da peneira onde fica retida uma porcentagem acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% da massa do agregado. A peneira pode fazer parte da série normal ou intermediária.

Os agregados graúdos para concreto estão especificados na ABNT NBR 7211:2009. A Tabela 2.5 mostra as aberturas nominais das peneiras utilizadas, de acordo com ABNT NBR NM ISO 3310-1:2010.

**Tabela 2.3. Abertura nominal das peneiras utilizadas em ensaios de agregados. (ABNT NBR 7211:1009)**

Série Normal	Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-



A partir do ensaio que determina a composição granulométrica do agregado utilizado pode-se obter a curva granulométrica, que é a representação gráfica da composição granulométrica de um agregado.

O diâmetro máximo, ou dimensão máxima característica, do agregado graúdo pode ser determinado de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 da seguinte maneira:

$$D_{Max} = 1,2 C_{nom}$$

Onde  $C_{nom}$  é a espessura do cobrimento nominal de concreto. Essa espessura também está definida na norma ABNT NBR 6118:2014 de acordo com a classe de agressividade ambiental.

A ABNT NBR 7211:2009 detalha as especificações referentes aos agregados para concreto. O agregado graúdo é classificado comercialmente em 3 tipos de acordo com seu diâmetro máximo:

- Pó de brita:
- Brita 0: diâmetro máximo de 9,5 mm;
- Brita 1: diâmetro máximo de 19 mm; e
- Brita 2: diâmetro máximo de 32,0 mm.

O tipo de brita também pode ser escolhido, principalmente, de acordo com a forma de aplicação, a peça estrutural a ser concretada e a densidade da armação. No caso de concreto bombeado é recomendável que se utilize agregados mais finos, pois o uso, por exemplo, da brita 2 pode causar entupimento da bomba.

#### **2.1.4 CONSISTÊNCIA**

A consistência do concreto é medida a partir do ensaio de abatimento do tronco de cone, ou slump test. Esse parâmetro está diretamente ligado à trabalhabilidade do concreto, conceito definido como “energia necessária para manipular o concreto fresco sem perda considerável da homogeneidade” (ASTM C 125-93). Ressalta-se que a ABNT NBR 12655:2006 define, para o caso de concreto produzido em central, como obrigatório o ensaio de abatimento do tronco de cone a cada betonada.

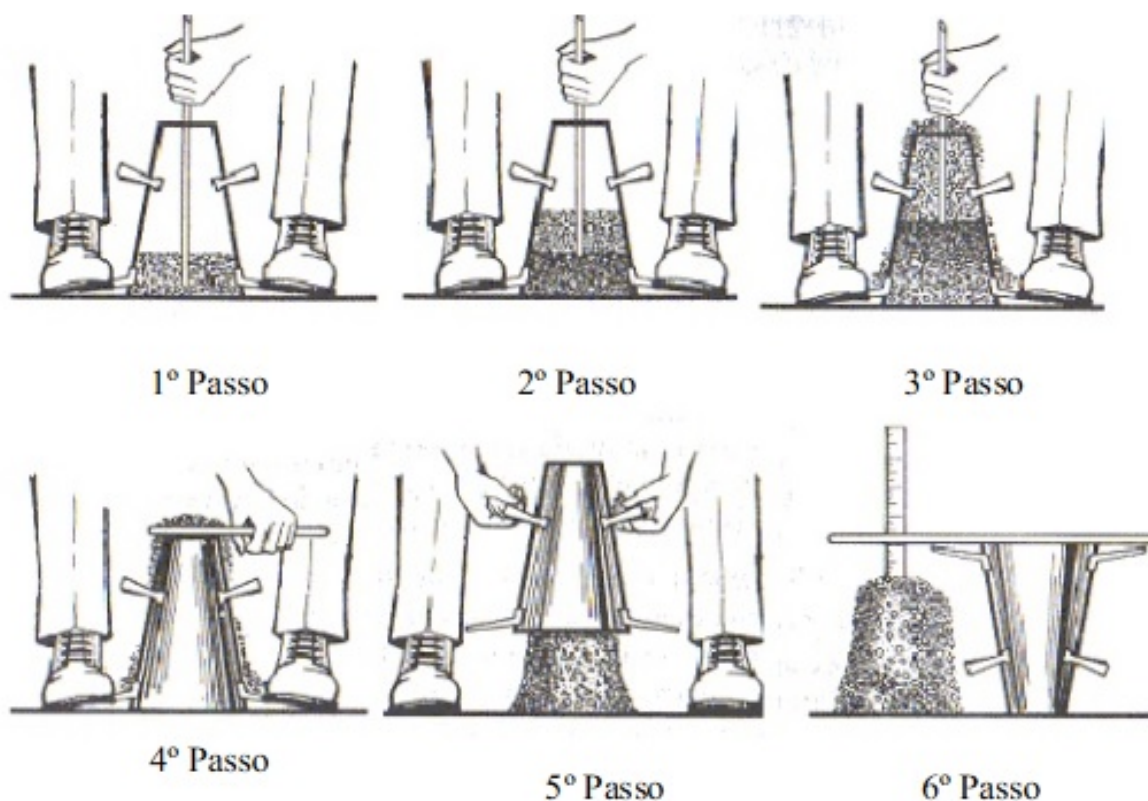
O ensaio de abatimento do tronco de cone a ser realizado no recebimento do concreto está descrito pela ABNT NBR NM 67:1998. Os instrumentos utilizados são:

- Molde: em formato tronco de cone oco, fabricado em metal não facilmente atacável pela pasta de cimento e com espessura igual ou superior a 1,5 mm. A superfície interna deve ser lisa, livre de quaisquer protuberâncias ou irregularidades. As dimensões padronizadas são:
  - Diâmetro da base inferior:  $200\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ ;
  - Diâmetro da base superior:  $100\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ ;
  - Altura:  $300\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ ;
- Haste de compactação: haste reta, de aço ou outro material que seja adequado, com seção transversal cilíndrica, 16 mm de diâmetro, 600 milímetros de comprimento e extremidades arredondadas;
- Placa de base: placa que serve de apoio para o molde, deve ser plana, pode ser quadrada ou retangular, suas dimensões de lado não devem ser menores que 500 mm, espessura de, no mínimo, 3 mm e deve ser metálica.



**Figura 2.1 - Equipamentos utilizados no ensaio de abatimento do tronco de cone (COUTINHO, 2003).**

O procedimento a ser realizado está esquematizado na Figura 2.2 e descrito nos itens subsequentes, segundo prescrições do item 5 da norma ABNT NBR NM 67:1998:



**Figura 2.2. Passos para realização do ensaio de abatimento do tronco de cone (FONTE: modificado de MEHTA e MONTEIRO, 2014).**

- Preparação para o ensaio: Umedecer o molde internamente e a placa de base e posicionar o tronco de cone sobre a placa. O moldador deve se posicionar com os pés sobre as duas aletas de forma a manter o molde estável durante seu preenchimento.
- 1º, 2º e 3º Passos: Encher o molde em 3 camadas de alturas aproximadamente iguais; Golpear cada camada, com a haste de acordo com a ABNT NBR NM 67:1998.
- 4º Passo: Durante o enchimento da camada superior, o concreto deve ficar acumulado sobre o molde. Após adensamento, caso a superfície de concreto fique abaixo da borda do molde, deve-se adicionar mais concreto para manter um excesso na superfície, que deve ser rasada com a desempenadeira e a haste de compactação ao final do processo na última camada.
- 5º Passo: O molde é retirado lentamente (5 segundos a 10 segundos) em um movimento constante e vertical e posicionado ao lado do corpo de prova.
- 6º Passo: O abatimento corresponde n medida da diferença entre altura do molde e altura do corpo de prova, aproximando aos 5 mm mais próximos.

Caso ocorra desmoronamento o ensaio deve ser repetido. Caso o desmoronamento se repita em ensaios consecutivos, o concreto não tem a coesão esperada.

A medida do abatimento é determinada de acordo com a peça e o tipo de transporte do concreto utilizado na obra. No caso deste trabalho o concreto é bombeável.

## **2.1.5 OUTRAS ESPECIFICAÇÕES**

Além das especificações que são feitas usualmente, existem situações em que se deve solicitar características adicionais mais específicas. O item 8.1.2 da ABNT NBR 7212:2012 cita algumas delas: massa específica, teor de ar incorporado, consumo de cimento, tipo e marca de cimento, tipo de aditivo, temperatura do concreto e outras. As especificações mais usuais estão apresentadas com mais detalhes a seguir:

### **2.1.5.1 ADITIVOS**

A ABNT NBR 11768:2011 define aditivo como o produto adicionado durante o processo de preparação do concreto com o objetivo de modificar suas propriedades no estado fresco e/ou endurecido. Essa Norma classifica os aditivos como:

- Plastificantes: utilizado para diminuir a quantidade de água mantendo a plasticidade (trabalhabilidade) do material e, conseqüentemente, aumentando sua resistência;
- Superplastificantes (tipo I ou tipo II): o efeito é similar ao dos plastificantes, mas o mecanismo responsável é diferente, de maneira que a redução da quantidade de água é muito mais eficiente, mas o efeito dura menos tempo;
- Hiperplastificantes: Aditivo de alta redução de água ou superplastificante tipo II;
- Retardadores de pega: tem o objetivo de aumentar a janela de tempo que permite aplicação do concreto por meio da diminuição da velocidade com que os grãos de cimento são dissolvidos na água, ou seja, ele aumenta o tempo de início de pega;
- Aceleradores de pega: diminui o tempo de transição do concreto do estado plástico para o endurecido;
- Aceleradores de resistência: aumentam a taxa de crescimento inicial da resistência do concreto (com ou sem modificação no tempo de pega);

- Incorporadores de ar: induzem a formação de pequenas bolhas de ar e aumentam a resistência do concreto em caso de congelamento.
- Polifuncionais: são aditivos com a função de plastificar o concreto, com seu efeito entre o desempenho dos plastificantes comuns e os super plastificantes. Contudo, seu efeito é mais durador que o dos super plastificantes, o que permite que ele seja adicionado ainda na central por mão de obra especializada, evitando-se as perdas. Também são efeitos deste aditivo: trabalhabilidade melhor, maior coesão, facilidade no bombeamento, melhor acabamento superficial e durabilidade total, reduz a exsudação e a retração por secagem.

Coloca-se que os aditivos mais relevantes para o presente trabalho são aqueles relacionados à trabalhabilidade do concreto. Quando se tem uma situação de concretagem de duração muito longa, é interessante utilizar os aditivos do tipo “retardadores de pega”, que aumentam a janela de tempo para aplicação do concreto. Os plastificantes são utilizados em situações em que o concreto tem baixa relação água/cimento mas não pode perder sua trabalhabilidade devido a essa redução de água.

O uso de aditivos também podem ter consequências negativas, por essa razão deve-se ter muito cuidado quando eles se fazem necessários. Alguns aditivos retardadores de pega possuem cloretos, que podem causar danos à armação, em alguns casos os aditivos podem reduzir a resistência do concreto e, em caso de superdosagens, a trabalhabilidade e o tempo de pega podem ser comprometidos.

#### **2.1.5.2 COR**

No caso de construções de concreto aparente, podem existir exigências quanto à cor do material, para que seja mantida a característica prevista na edificação. Coloca-se que o Cimento Portland Branco estrutural pode ser utilizado para obtenção de um aspecto estético diferenciado na estrutura e para a confecção de concretos coloridos, com adição de pigmentos.

### 2.1.5.3 CIMENTO

Existem diversos tipos de cimento, com propriedades diferentes e que podem ser interessantes em situações especiais. A Tabela 2.4 mostra os tipos de cimento existentes e suas especificidades.

**Tabela 2.4. Tipos de cimentos Brasileiros e descrições.**

<b>Tipo de Cimento</b>	<b>Descrição</b>
CP-I (ABNT NBR 5732)	Cimento Portland Comum – Não possui aditivos, é um cimento de alto custo e baixa resistência.
CP-II (ABNT NBR 11578)	Cimento Portland Composto – É conhecido como composto por apresentar 3 tipos de aditivos: escória de alto forno (E), filer (F) ou material pozolânico (Z).
CP-III (ABNT NBR 5735)	Cimento Portland de Alto Forno – Possui em sua composição de 35% a 70% de escória de alto forno. Possui maior durabilidade e impermeabilidade, baixo calor de hidratação, alta resistência à expansão e é resistente a sulfatos.
CP-IV (ABNT NBR 5736)	Cimento Portland Pozolânico – Possui em sua composição de 15% a 50% de material pozolânico. Proporciona estabilidade em caso de ambientes agressivos ou agregados reativos, possui baixo calor de hidratação e é pouco poroso.
CP-V ARI (ABNT NBR 5733)	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – Atinge resistências elevadas em curtos períodos de tempo e também a longo prazo.
Cimento RS (ABNT NBR 5737)	Cimento Portland Resistente a Sulfatos – Resiste aos sulfatos presentes em esgotos, água do mar e ambientes industriais.
Cimento Branco (ABNT NBR 12989)	Cimento Portland Branco (CPB) – É um cimento de cor branca. Existem dois tipos: estrutural, ideal para fins arquitetônicos, e não estrutural, indicado para rejunte de cerâmica.

Além do tipo de cimento, o consumo de cimento pode variar de acordo com a exposição das peças concretadas a ambientes agressivos.

## **2.2 LANÇAMENTO E ADENSAMENTO DO CONCRETO**

O transporte do concreto deve seguir prescrições da ABNT NBR 7212:2012:

- fixado de forma que o fim do adensamento não ocorra após o início de pega do concreto lançado e das camadas ou partes contíguas a essa remessa;
- inferior a 90 min e fixado de maneira que até o fim da descarga seja de no máximo 150 min, no caso do emprego de veículo dotado de equipamento de agitação;
- inferior a 40 min e fixado de maneira que até o fim da descarga seja de no máximo 60 min, no caso de veículo não dotado de equipamento de agitação.

Tempo de pega é o intervalo entre o momento da primeira adição de água e o momento de início do endurecimento do concreto. Segundo MEHTA e MONTEIRO (2014), a causa desse enrijecimento da pasta de cimento é a perda gradual de água livre, que se deve às reações de hidratação e adsorção e à evaporação.

O lançamento com bomba de concreto é o método utilizado na obra escolhida. O procedimento deve respeitar as recomendações necessárias para que sejam mantidas as propriedades desejadas. Alguns aspectos devem ser observados:

- a bomba deve alcançar os locais a serem concretados, pois o concreto deve ser lançado mais próximo possível do local;
- o lançamento não deve exceder uma altura de 2 m;
- deve-se evitar acúmulo de concreto em alguns pontos da forma;
- realizar o lançamento de maneira a permitir que a equipe saia do local sem danificar o concreto já aplicado.

O adensamento é o procedimento responsável por compactar o máximo possível os agregados da mistura. Esse processo, quando executado por vibração, auxilia na eliminação do ar aprisionado no concreto, melhorando algumas das suas propriedades. São elas: resistência, impermeabilidade, aderência, aparência superficial, densidade, economia,



qualidade, otimização do traço e redução nas variações de volume. Quando bem adensado, o concreto apresenta um teor de ar incorporado de, aproximadamente, 1,5% e redução de volume. Essa redução pode ser medida segundo procedimentos descritos na norma alemã DIN 1048-1:1991, com o ensaio da “Caixa de Walz” (ABCP).

O vibrador utilizado na obra escolhida é do tipo interno, também chamado de agulha ou vibrador de imersão. Esse é um dos sistemas mais eficientes, pois o vibrador atua diretamente no concreto e seu manuseio é fácil. O procedimento de adensamento dos corpos de prova utilizados neste trabalho está descrito na Metodologia deste trabalho, juntamente com todo o procedimento de molde dos corpos de prova.

## **2.3 CURA DO CONCRETO**

Essa etapa é de extrema importância quando se trata de estruturas de concreto, pois ela tem como principal objetivo evitar a evaporação da água de amassamento do concreto, que é essencial para a hidratação do concreto. Ela também evita fissuração excessiva do concreto, pois durante a evaporação dessa água, a tensão superficial que ela gera nos poros do concreto resulta em forças de tração nas peças. Como já mencionado anteriormente, o concreto não é um material que resiste a esforços de tração muito altos.

A cura dos corpos de prova é realizada pelo laboratório responsável pela ruptura dos mesmos de acordo com os procedimentos descritos pela ABNT NBR 5738:2003.

## **2.4 ACEITAÇÃO DO CONCRETO**

A aceitação ou não de um lote de concreto cabe ao responsável técnico da obra, que deve garantir que as prescrições de norma sejam cumpridas. Essa aceitação, segundo ABNT NBR 12655:2006, pode ser dividida em duas partes: aceitação preliminar do concreto e aceitação definitiva do concreto. A ABNT NBR 7212:2012 também traz comentários sobre o recebimento e a aceitação do concreto nos itens 3.10 a 3.12.

A aceitação preliminar do concreto consiste na verificação simples das propriedades da mistura ainda fresca, como o ensaio de abatimento do tronco de cone, como descrito na

ABNT NBR NM 67:1998, e trata-se de uma aceitação provisória. A aceitação definitiva se dá após verificadas as resistências dos corpos de prova e comparação desses resultados com os valores especificados. O ensaio de resistência à compressão está descrito na Metodologia deste trabalho (ABNT NBR 12655:2006).

A ABNT NBR 7212:2012 define os procedimentos de produção e recebimento desse concreto. O documento de entrega do material (nota fiscal) deve conter informações sobre:

- Quantidade de cada componente do concreto;
- Volume de concreto
- Horário do início da mistura (primeira adição de água);
- Abatimento do tronco de cone (*slump*);
- Diâmetro máximo do agregado;
- Resistência característica do concreto à compressão;
- Aditivos utilizados;
- Quantidade de água adicionada na central;
- Quantidade de água que poderá ser adicionada na obra;
- Menção de quaisquer especificações do pedido.

Essa norma também coloca que, caso pelo menos um dos itens especificados não esteja de acordo com o pedido, o lote de concreto pode ser recusado. A comparação entre os valores de resistência característica e da resistência determinada por meio de ensaios deveria respeitar a relação, mostrada no item 2.1.1 deste trabalho.

## **2.5 DESVIO PADRÃO REFERENTE À PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA**

Quando são detectados resultados insatisfatórios, eles podem ter origens diferentes. Uma delas pode ser o processo de moldagem. Nesse sentido, o *Boletín Técnico 9 – Controle da Resistência do Concreto*, produzido por Paulo Helene e Jéssika Pacheco, traz uma observação sobre esse critério: “O desvio padrão de produção não pode superar em 37% o desvio padrão de dosagem.”

O ACI 214:1989 classifica o controle de produção de acordo com o desvio padrão de dosagem, segundo mostrado na Tabela 2.1. Ressalta-se que este é apenas um critério para comparação, tendo em vista que a forma de controle adotada pelas normas americanas é diferente da adotada nas normas brasileiras.

**Tabela 2.5. Classificação do controle de concretos segundo ACI 214:1989. (Fonte: NEVILLE, 1997, modificado)**

Classificação	Desvio Padrão (MPa)	
	Na Obra	No Laboratório
Excelente	< 3,00	< 1,50
Muito Bom	3,00 a 3,50	1,50
Bom	3,50 a 4,00	1,50 a 2,00
Razoável	4,00 a 5,00	2,00 a 2,50
Insatisfatório	> 5,00	> 2,50

## 2.6 DEFINIÇÃO DA AMOSTRA DE CONTROLE DE RECEBIMENTO

A definição dos lotes para amostragem é encontrada na ABNT NBR 12655:2006. A Tabela 2.2, retirada da ABNT NBR 12655:2006, mostra os valores para formação de lotes de concreto.

**Tabela 2.6. Valores, limites máximos, para a formação de lotes de concreto (Fonte: ABNT NBR 12655:2006)**

Limites Superiores	Solicitação Principal do Elementos da Estrutura	
	Compressão ou Compressão e Flexão	Flexão Simples
Volume de Concreto	50 m <sup>3</sup>	100 m <sup>2</sup>
Número de Andares	1	1
Dias de Concretagem	3 dias de concretagem <sup>1</sup>	

1) Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas.

O item 6.1 da ABNT NBR 7212:2012 define que os exemplares devem ser retirados aleatoriamente de concretos do mesmo traço, pelo menos a cada 50 m<sup>3</sup> de concreto entregues. Esse exemplar deve ser formado por, no mínimo, dois corpos de prova para cada idade de rompimento e devem ser retirados após 15% do volume já lançado.

### 3 METODOLOGIA

Com o intuito de atingir os objetivos propostos, será necessário executar algumas etapas de trabalho e para isso, é imprescindível definir inicialmente: os parâmetros de análise; o processo de coleta de dados (relacionados ao momento de moldagem e ruptura de corpos de prova); e a forma de análise dos mesmos. A seguir será apresentada a descrição detalhada de cada fase e de cada escolha referente à definição da metodologia a ser utilizada neste trabalho.

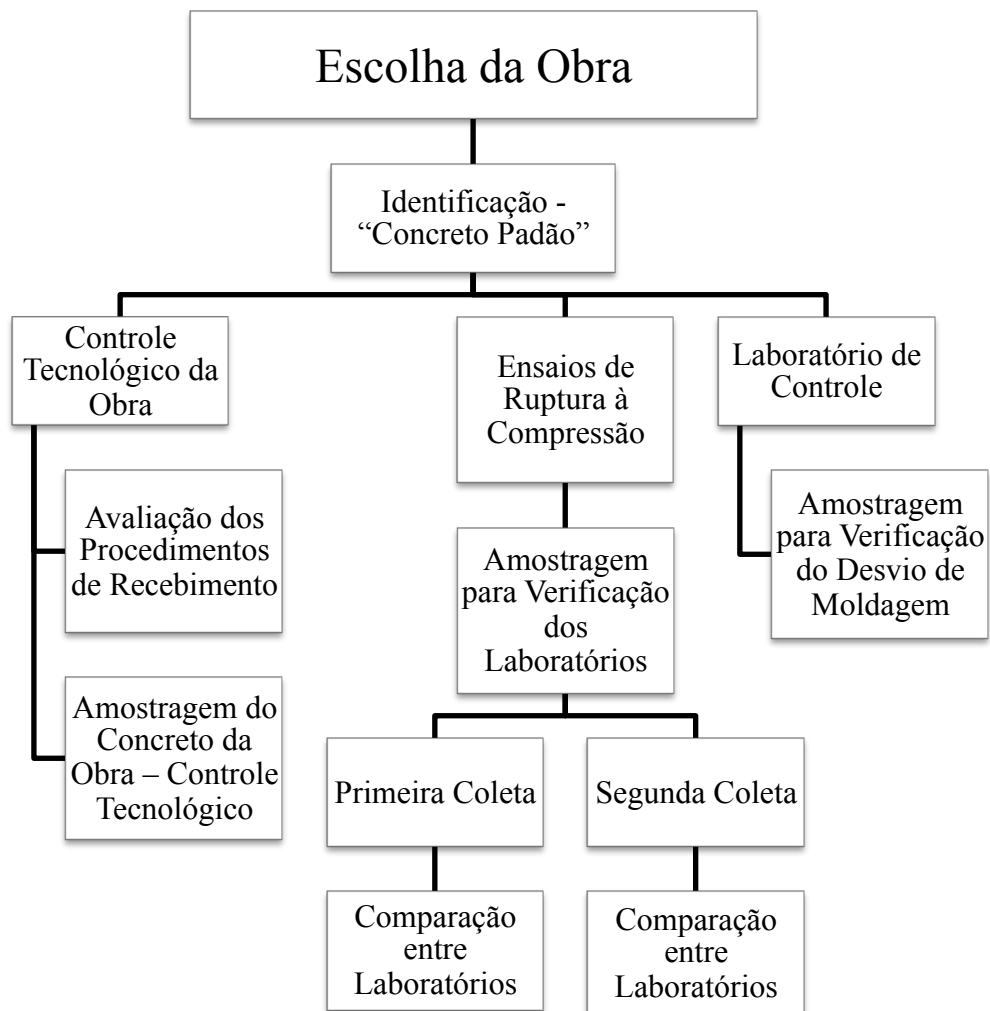


Figura 3.1. Fluxograma de atividades do programa experimental.

### **3.1 ESCOLHA DA OBRA**

Para a realização do projeto experimental os requisitos sugeridos para a escolha da obra foram: acesso ao canteiro; o tipo de sistema estrutural adotado (concreto armado); e o atual momento que se encontra a obra (execução da estrutura em concreto armado em andamento com duração mínima, para avaliação, de 02 meses, que permita a coleta de amostras do concreto aplicado em intervalos de pelo menos 15 dias).

Para atendimento aos objetivos propostos foi sugerida a adoção de uma obra que além de atender os requisitos sugeridos, disponibilizará a documentação existente relacionada à execução e controle da estrutura e as informações necessárias ao para o bom andamento dessa pesquisa.

#### **3.1.1 DESCRIÇÃO DA OBRA**

A obra é constituída de duas torres, cada uma com quatro pavimentos e cobertura, térreo, um pavimento semienterrado e dois subsolos. As torres serão ocupadas por um total de 164 salas comerciais de 30 m<sup>2</sup> a 92 m<sup>2</sup>, cada uma com uma vaga de garagem e um depósito individual. O térreo possui salas dentro das torres, guarita e área externa com espaços comuns e mais de 1000 m<sup>2</sup> de área verde. O pavimento semienterrado abriga depósitos individuais e parte das salas duplex do pavimento térreo, além de local técnico. Os dois subsolos possuem vagas de garagem, local técnico e depósitos individuais.

A empresa responsável pela execução da obra em questão prevê o fim da fase de execução do sistema estrutural em concreto armado até agosto de 2014. A obra ocupa um terreno de 400 m<sup>2</sup> e corresponde a 11.634,58 m<sup>2</sup> de área construída. O volume total de concreto a ser consumido na execução da estrutura da edificação foi estimado em 2.850 m<sup>3</sup> do concreto padrão da obra. Em cada ocasião de concretagem executa-se usualmente um pavimento, sendo que o volume total varia em torno de 100 m<sup>3</sup> por pavimento.

### 3.2 IDENTIFICAÇÃO DO “CONCRETO PADRÃO”

O concreto utilizado na pesquisa, ou “concreto padrão”, foi o aplicado na confecção das lajes e pilares da obra. É o concreto utilizado em toda a estrutura da edificação e é bombeado. Conforme consta em projeto estrutural, as características exigidas para esse concreto são as seguintes:

- A resistência característica à compressão do “concreto padrão”, ou seja, seu  $f_{ck}$  é definido no projeto estrutural como 35 MPa;
- O módulo de elasticidade secante do “concreto padrão” deve ser igual ou superior a 28 GPa (não será avaliado através de ensaios nesse estudo); e
- A relação água/cimento máxima, ou seja, a razão entre o volume de água e o volume de cimento utilizado no traço do “concreto padrão”, deve ser de até 0,65.

Complementando as características exigidas nas especificações do projeto estrutural, o concreto que foi aplicado na execução do sistema estrutural, foi confeccionado utilizando como agregado graúdo a “brita 1” e apresentar, como critérios de aplicabilidade do material, o abatimento (*slump*) requerido de  $(10 \pm 2)$  cm. Atendendo, dessa forma, as especificações complementares exigidas pela empresa (canteiro), que são feitas no momento da solicitação ao fornecedor (usina de concreto) que o produzirá o “concreto padrão”.

O cimento utilizado na produção do “concreto padrão” foi CP II F-40 cimpor.

Ressalta-se que o material que foi amostrado atendeu, no momento da coleta, tanto às especificações do projeto estrutural (relação a/c máxima de 0,65) como às exigidas pela empresa responsável pela execução da obra (“brita 1” e abatimento entre 8 e 12 cm).

### 3.3 AVALIAÇÃO DA ROTINA DE RECEBIMENTO DO CONCRETO

Foi avaliado o procedimento utilizado pela obra no momento da chegada do material. Esta etapa se refere à aceitação preliminar do concreto. Trata-se da verificação das características da mistura e do resultado do ensaio de abatimento, *slump test*. Essa avaliação

levou em consideração os critérios descritos nas normas ABNT NBR 12655:2006 e ABNT NBR 7212:2012 e já descritos no item 2.2 deste trabalho.

Os aspectos observados nesta etapa foram formação de lotes e aceitação preliminar do concreto.

### **3.4 AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DOS ENSAIOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO “CONCRETO PADRÃO”**

A proposta dessa etapa do trabalho é avaliar a coerência dos resultados fornecidos ao canteiro pela empresa responsável pela execução do controle tecnológico do concreto usado na confecção da estrutura, através da comparação entre os resultados obtidos junto aos principais laboratórios que realizam o controle tecnológico do concreto no Distrito Federal.

A avaliação foi feita em amostras do “concreto padrão” coletadas no canteiro, no mínimo, em duas ocasiões diferentes espaçadas em intervalos de pelo menos 15 dias. Em cada uma dessas coletas, será amostrado apenas um dos caminhões betoneira utilizados na concretagem.

No procedimento de amostragem que foi adotado, além dos corpos de prova regularmente moldados pelo laboratório responsável pelo controle tecnológico da obra, foram moldados mais dois corpos de prova por laboratório participante da pesquisa, no canteiro. Conta-se com a participação de 7 (sete) laboratórios para a ruptura de 2 (dois) corpos de prova em cada um deles por amostragem. Além desses 14 (dezesesseis) corpos de prova, também foram moldados 4 (quatro) corpos de prova para ruptura no LEM/UnB: 2 (dois) à idade de 7 dias e 2 (dois) à idade de 28 (vinte e oito) dias. O laboratório que realiza o controle tecnológico da obra regularmente molda 4 corpos de prova: 2 são rompidos à idade de 7 dias e 2 à idade de 28.

Foram estabelecidas ações envolvendo os processos de fabricação dos corpos de prova cilíndricos, de forma a garantir uma condição de similaridade entre os mesmos; e mantidas as condições de sigilo experimental de maneira ser possível à identificação dos pontos convergentes do estado de coerência de seus resultados, ou seja, não foram repassadas aos



laboratórios participantes informações referentes à resistência mecânica esperada ou qualquer outra que possa interferir de forma intencional nos resultados dessa pesquisa.

Foram utilizados como parâmetros de análise os valores de resistência à compressão do “concreto padrão” após 28 dias de sua aplicação, dos corpos de prova ensaiados no LEM/UnB. Ressalta-se que a empresa fornecedora de concreto também realiza o controle de resistência a partir da moldagem de corpos de prova, porém esses resultados não foram utilizados neste trabalho.

Também foi verificado, segundo procedimento descrito no ANEXO B de ABNT NBR 5739:2007, que está apresentado no item 3.7 deste trabalho, o coeficiente de variação do ensaio. Essa análise foi realizada para cada um dos laboratórios isoladamente.

### **3.4.1 DETERMINAÇÃO DA VARIABILIDADE REFERENTE AO PROCESSO DE MOLDAGEM**

Para verificação da variabilidade referente ao processo de moldagem, foram moldados em uma ocasião distinta das amostras 21 corpos de prova, que foram ensaiados no LEM UnB. A partir dessa verificação podemos identificar possíveis falhas no processo de produção dos corpos de prova. O procedimento de produção, transporte e cura foi o mesmo utilizado para as duas amostras já coletadas anteriormente.

Segundo HELENE e TERZIAN, 1992, os limites inferior e superior admitidos para pequenas amostras, ou seja, amostras com  $n$  inferior a 35, são calculados da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \textit{Limite Superior} &= \sqrt{\frac{n-1}{X_{0,05}^2}} \cdot sd \\ \textit{Limite Inferior} &= \sqrt{\frac{n-1}{X_{0,95}^2}} \cdot sd \end{aligned}$$

A Tabela 3.1 traz os limites de acordo com o tamanho da amostra utilizada.

**Tabela 3.1. Intervalo de confiança correspondente a uma probabilidade de 90% de ocorrência, em função do tamanho da amostra, para um desvio padrão,  $sd = 4$  MPa, adotado na dosagem. (FONTE: HELENE e TERZIAN, 1992)**

Número de exemplares	Limite Inferior (MPa)	Limite Superior (MPa)
6	2,7	8,4
12	3,0	6,2
18	3,1	5,6
35	3,2	4,8
100	3,5	4,5
200	3,7	4,3
1.000	3,8	4,2
10.000	4,0	4,0

Para a amostra utilizada deve-se interpolar os valores obtidos na Tabela 3.1. Assim tem-se que o limite inferior equivale a 3,12 MPa e o limite superior equivale a 5,51 MPa. Esses são os limites utilizados como referência para avaliação dos resultados desta etapa.

### **3.5 AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DO “CONCRETO PADRÃO”**

Para essa etapa da pesquisa foram usados os dados dos resultados do ensaio para determinação da resistência à compressão, aos 28 dias após a data da moldagem, dos corpos de prova do “concreto padrão” usado na execução da estrutura, repassados pelo laboratório de controle tecnológico contratado pela construtora (canteiro). Coloca-se que o laboratório que realiza o controle tecnológico regularmente para esta empresa costuma moldar quatro corpos de prova: dois são rompidos com idade de 7 dias e dois com idade de 28 dias.

Ressalta-se que o LEM UnB é o laboratório utilizado como referencia, ou laboratório de controle, pois são conhecidas as características da prensa e a confiabilidade do laboratório.

Foi feito um estudo estatístico com os dados dos corpos de prova rompidos com idade de 28 dias, que auxiliou na avaliação da conformidade do concreto aplicado para produção do sistema estrutural da edificação em estudo. Ressalta-se que essa análise serviu como uma ferramenta de auxílio para avaliar a qualidade da produção da estrutura de concreto armado,

ou seja, serviu para avaliação da conformidade desse concreto fornecido pela empresa que produz o concreto.

Para esta análise foi utilizado o cálculo do  $f_{ck,est}$  segundo critério apresentado por HELENE e TERZIAN. Para tal análise, cada data de concretagem será considerada um lote com amostragem total (100%). Para  $n$  qualquer e amostragem total:

$$f_{ck,est} = f_{c1}, \text{ para } n \leq 30$$

$$f_{ck,est} = f_{c2}, \text{ para } n > 30$$

$$f_{ck,est} = f_{c3}, \text{ para } n > 60$$

Onde:

$n$  = número de exemplares da amostra

$$f_{c1} \leq f_{c2} \leq f_{c3} \leq \dots \leq f_{c(n/2)} \leq \dots \leq f_{cn}$$

O lote é aceito quando o  $f_{ck,est}$  for maior ou igual ao  $f_{ck}$  de projeto. Quando for menor, deve-se tomar providências para verificação de resistência ou reforço estrutural, caso necessário.

### 3.6 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova utilizados neste trabalho serão moldados segundo o procedimento descrito na ABNT NBR 5738:2003, Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de prova – para ensaio de compressão. Eles terão o formato cilíndrico, com diâmetro de  $(10 \pm 0,1)$  cm e a altura de  $(20 \pm 0,4)$  cm, como especificado para este ensaio.

Todo o procedimento de moldagem, com exceção da amostra coletada para a confecção dos corpos de prova moldados na central que produzirá o concreto, deve ser realizado pelo mesmo profissional, para evitar grandes discrepâncias que sejam relevantes para este trabalho. Desta forma, essa etapa será realizada por um só operário (moldador) devidamente treinado e capaz de manter uma similaridade de ações com o intuito de minimizar os efeitos sobre os resultados analisados.

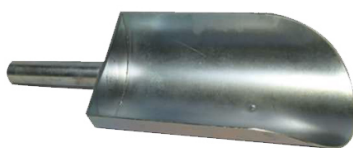
Como procedimento inicial da coleta em campo, o profissional responsável pela moldagem, assim que receber a amostra, após a conferência das informações contidas no romaneio ou na nota fiscal do concreto, deverá misturá-la o suficiente para garantir sua uniformidade e proceder à verificação do abatimento do concreto. Caso o concreto que está sendo recebido esteja de acordo com o especificado em projeto, procede-se para a aplicação do concreto e moldagem dos corpos de prova. Deve-se colocar que esse é o procedimento que vem sendo realizado no canteiro pela empresa responsável pelo controle tecnológico.

Com o auxílio de uma concha em formato de U (ou colher de pedreiro) o moldador deverá colocar o concreto no molde em camadas de mesmo volume. Enquanto o concreto da amostra é introduzido nos moldes cilíndricos de diâmetro 10 cm por 20 cm de altura, deverá ser realizado seu adensamento. A moldagem será realizada em duas camadas cujo adensamento manual será feito utilizando uma haste de aço, cilíndrica, com superfície lisa, diâmetro de  $(16 \pm 0,2)$  mm e comprimento de 60 cm a 80 cm. O número de golpes com essa haste é de 12 golpes, conforme determina a ABNT NBR 5738:2003. Todas as camadas devem ser atravessadas pela haste de adensamento em toda sua espessura durante os golpes, sendo que para a primeira evitam-se golpes que atinjam a base com energia e na outra, subsequente, deve-se penetrar a camada anterior em aproximadamente 20 mm. A segunda e última camada deve ser colocada com volume em excesso, para garantir completo preenchimento do molde sem enchimento adicional após adensamento.

Ressalta-se que durante o processo de moldagem foi garantida para a moldagem uma superfície de apoio plana, horizontal e livre de vibrações ou perturbações que pudessem alterar as propriedades do concreto amostrado. Depois de adensar o concreto dos moldes, prossegue-se ao rasamento da superfície com auxílio de uma régua metálica ou uma colher de pedreiro. A superfície deve ficar lisa e horizontal. Salienta-se que ao manusear os corpos de prova, deve-se evitar qualquer tipo de perturbação que possa alterar as propriedades do concreto.



**Figura 3.2. Molde utilizado para produção dos corpos de prova. (Fonte: SOLOCAP)**



**Figura 3.3. Concha utilizada no ensaio de abatimento e na produção dos corpos de prova. (Fonte: SOLOCAP)**

Durante as primeiras 24 horas após a moldagem, os corpos de prova foram protegidos de intempéries e cobertos com material não reativo e não absorvente, de modo a evitar perda de água. Após a cura inicial, que ocorreu no período de aproximadamente 24 horas, os corpos de prova foram transportados ainda nas formas e, após o recebimento, foram retirados dos moldes e identificados.

O procedimento de cura utilizado foi o de cura submersa. Apenas os corpos de prova utilizados para o controle tecnológico de concreto da obra foram submetidos ao procedimento usual de cura adotado por esses laboratórios.

Antes de enviados aos laboratórios, foram pré-avaliadas as condições de homogeneidade (dimensões e massa) para a validação dos corpos de prova usados no ensaio. O transporte para a distribuição dos corpos de prova ocorreu com antecedência máxima de 24 horas da data de ensaio, devido ao tempo de duração relacionado à logística necessária ao transporte desses corpos de prova, e garantiu as condições de transporte previstas em norma.

Para realização do ensaio os corpos de prova devem ser preparados, para garantir que as condições de topo não influenciem nos resultados. Essa preparação das bases dos corpos de prova pode ser feita de três maneiras distintas, segundo ABNT NBR 5738:2003: remate, retificação e capeamento.

O remate consiste na aplicação de uma fina camada de pasta de cimento nas bases do corpo de prova com o auxílio de uma placa de vidro plana, que não deve aderir à pasta e apenas é retirada no momento da desforma.

A retificação consiste na remoção por meios mecânicos de uma fina camada do topo do corpo de prova que é preparado. Esse procedimento é realizado com o auxílio de ferramentas abrasivas e máquinas adaptadas para esta finalidade.

O capeamento consiste no revestimento do corpo de prova a ser ensaiado com um material que atenda aos seguintes requisitos: aderência ao corpo de prova, compatibilidade química com o concreto, fluidez para aplicação, acabamento liso e plano após endurecimento e resistência compatível com o material ensaiado. Um dos materiais mais utilizados para capeamento é o enxofre.

Outros procedimentos podem ser adotados, desde que avaliados previamente por comparação estatística com o capeamento. Um processo muito comum é a utilização do anel de neoprene confinado, devido à sua rapidez e praticidade no ensaio e devido ao fato de não oferecer condições insalubres aos técnicos e laboratoristas. Estudos indicam que os resultados obtidos com o neoprene podem diferir um pouco dos resultados obtidos com capeamento tradicional de enxofre.

As condições de topo dos corpos de prova também podem influenciar nos resultados. Por essa razão é muito importante que o topo seja liso e perpendicular à geratriz do corpo de prova. Neste trabalho o procedimento adotado foi o uso de neoprene confinado, por ser a técnica utilizada pelos laboratórios participantes.

### **3.7 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA**

Essa etapa da pesquisa serviu para obter os dados referentes aos resultados do ensaio para determinação das resistências à compressão dos corpos de prova, obtidos em cada um dos nove (nove) laboratórios de análise participantes dessa etapa, conseguidos a partir da sua ruptura aos 28 dias após a data da moldagem, respeitando os intervalos admitidos por norma.

O processo de preparação dos corpos de prova ficou a cargo de cada laboratório participante.

Para os corpos de prova que foram ensaiados no LEM/UnB o procedimento adotado envolveu antes da realização do ensaio a execução do processo de preparos para que as superfícies (extremidades) se tornem planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do cilindro através da utilização de placas de neoprene confinado em anel metálico.

No laboratório da Universidade de Brasília foram ensaiados quatro corpos de prova por amostragem, que serviram como controle do valor de resistência à compressão dessa pesquisa: dois foram rompidos á idade de 7 dias e outros 2 à idade de 28 dias. Os demais laboratórios receberam dois corpos de prova por amostragem, cada um.

A prensa utilizada no laboratório de controle, LEM UnB, está mostrada na Figura 3.4 e especificada abaixo.

Especificação da prensa utilizada no LEM UnB:

- Marca: FORNEY
- Ano: 2008
- Capacidade: 250.000,00 libras
- Calibrada em 13/11/2013



**Figura 3.4. Prensa de ensaio utilizada no LEM UnB.**

O ensaio de resistência à compressão é detalhado na ABNT NBR 5739:2007. O resultado deste ensaio pode variar com alguns parâmetros como preparação da superfície dos corpos de prova e a velocidade de carregamento. Estudos realizados pelo pesquisador Rusch mostram que a resistência do concreto pode reduzir em até 20% quando o carregamento tiver baixa velocidade de crescimento. Esse efeito ficou conhecido como Efeito Rusch e por essa razão é importante que a velocidade de carregamento seja padronizada.

O procedimento de ensaio está resumido a seguir:

- Deve-se determinar a altura e o diâmetro do corpo de prova a partir da média entre dois diâmetros medidos à metade de sua altura com precisão de 0,1 mm;
- O corpo de prova deve ser posicionado de maneira que seu eixo vertical coincida com o eixo da aplicação de carga;
- A aplicação de carga deve ser contínua, isenta de choques e sua velocidade deve ser constante durante todo o ensaio com valor de  $(0,45 \pm 0,15)$  MPa/s;
- O carregamento só deve cessar quando houver queda de força indicando ruptura.



O valor da resistência do corpo de prova é calculado segundo a fórmula:

$$f_c = \frac{4.F}{\pi.D^2}$$

Onde:

$f_c$  = é a resistência à compressão, em MPa;

F = carga máxima obtida no ensaio, em N;

D = diâmetro do corpo de prova, em mm.

O ANEXO B da ABNT NBR 5739:2007 traz um procedimento de análise para avaliação estatística dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão. Essa análise é o estudo da variabilidade dos resultados, que se deve às operações de ensaio. A norma recomenda que a amostra seja formada por dez ou mais exemplares formados por dois corpos de prova cada um.

O desvio padrão estimado para o ensaio é obtido de acordo com a equação:

$$s_e = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{d_2.n}$$

Onde:

$A_i$  = Amplitude de valores de resistência em MPa, ou seja, diferença entre o maior e o menor valor, para cada exemplar;

$d_2$  = coeficiente que depende da quantidade de corpos de prova que forma os exemplares; e

n = quantidade de exemplares que compõem a amostra.

O coeficiente  $d_2$ , como já mencionado, é determinado de acordo com a quantidade de corpos de prova que formam os exemplares, como mostrado na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2. Coeficiente  $d_2$  (FONTE: ABNT NBR 5739:2007)**

Quantidade de corpos de prova	Coeficiente $d_2$
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534

Após determinado o desvio estimado do ensaio, parte-se ao cálculo do coeficiente de variação dentro do ensaio.

$$cv_e = \frac{s_e}{f_{cm}}$$

Onde:

$cv_e$  = coeficiente de variação dentro do ensaio;

$s_e$  = desvio padrão estimado para o ensaio; e

$f_{cm}$  = resistência média dos exemplares da amostra.

A avaliação dos resultados do ensaio se dá de acordo com a classificação em níveis descritos na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3. Classificação do ensaio de acordo com o coeficiente de variação. (FONTE: ABNT NBR 5739:2007)**

Coeficiente de variação ( $cv_e$ )				
Nível 1 Excelente	Nível 2 Muito bom	Nível 3 Bom	Nível 4 Razoável	Nível 5 Ineficiente
$cv_e \leq 3,0$	$3,0 < cv_e \leq 4,0$	$4,0 < cv_e \leq 5,0$	$5,0 < cv_e \leq 6,0$	$cv_e > 6,0$

## 4 RESULTADOS

### 4.1 AVALIAÇÃO DA ROTINA DE RECEBIMENTO DO CONCRETO

Cada caminhão betoneira é definido como um lote de concreto, ou seja, 100% do material recebido é ensaiado. As normas ABNT NBR 12655:2006 e ABNT NBR 7212:2012 definem que a moldagem deve ser realizada a cada 50 m<sup>3</sup> de concreto, portanto são respeitadas pelo critério definido na obra.

No momento em que o caminhão betoneira carregado chega à obra em estudo, inicia-se o procedimento de recebimento do material. Esta etapa trata-se da aceitação preliminar do concreto, ou seja, aceitação da mistura ainda em seu estado fresco.

A primeira verificação é a da nota fiscal e é realizada pelo almoxarife ou por seu auxiliar. As informações verificadas nesse documento são:

- Quantidade de cada componente do concreto;
- Volume de concreto;
- Horário do início da mistura (primeira adição de água);
- Abatimento do tronco de cone (*slump*);
- Diâmetro máximo do agregado;
- Resistência característica do concreto à compressão;
- Aditivos utilizados;
- Quantidade de água adicionada na central;
- Quantidade de água que poderá ser adicionada na obra;

Após verificada e aprovada a nota fiscal, procede-se à verificação do abatimento do concreto por meio do *slump test*. Esse procedimento é realizado pelo funcionário do laboratório de controle tecnológico, o mesmo funcionário responsável pela moldagem dos corpos de prova. Respeitando o critério estabelecido pela ABNT NBR 12655:2006, esse controle é realizado para cada betonada.

A verificação do horário de início da mistura indica qual o horário limite para que a mistura seja lançada na obra. Quando esse horário é ultrapassado a aplicação é interrompida e o concreto “vencido” é descartado.

A verificação do horário de saída do caminhão da central tem como objetivo o rastreamento da causa dos atrasos. Dessa maneira a obra tem condições de verificar se o atraso é resultado de uma falha da equipe de concretagem ou do motorista do caminhão e, assim, avaliar o serviço prestado pela concreteira.

Segundo os critérios estabelecidos na ABNT NBR 7212:2012 e na A ABNT NBR 12655:2006, a rotina descrita avalia todos os aspectos importantes no que se refere à aceitação do concreto fresco. Portanto, foi considerada satisfatória neste trabalho.

## **4.2 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE DO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO PADRÃO**

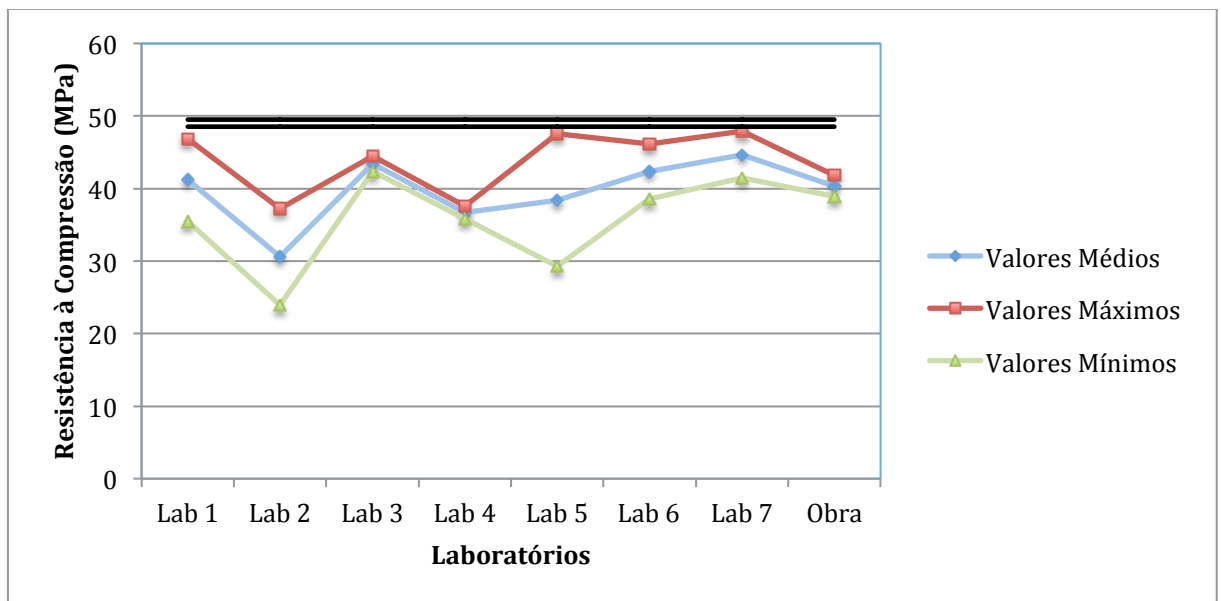
Serão apresentados os resultados das duas moldagens realizadas em datas distintas que foram utilizadas para análise neste trabalho.

### **4.2.1 PRIMEIRA MOLDAGEM**

A Tabela 4.1 apresenta os resultados das rupturas dos corpos de prova realizadas pelos laboratórios para a primeira amostragem e também traz o coeficiente de variação de cada um dos laboratórios participantes. A Figura 4.1 mostra a representação gráfica dos valores de resistência obtidos no ensaio conforme a Tabela 4.1 para cada laboratório participante.

**Tabela 4.1. Resultados de ruptura da primeira amostragem.**

Laboratório	Idade da Ruptura	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência (Mpa)	Valor Máximo (Mpa)	Valor Mínimo (Mpa)	Valor Médio (Mpa)	Coefficiente de Variação segundo ABNT NBR 5739:2007
Lab 1	28 dias	26782	35,51	46,87	35,51	41,19	12,23%
Lab 1	28 dias	34636	46,87				
Lab 2	28 dias	27489	37,20	37,20	23,95	30,57	19,21%
Lab 2	28 dias	18064	23,95				
Lab 3	28 dias	32640	42,40	44,52	42,40	43,46	2,16%
Lab 3	28 dias	34270	44,52				
Lab 4	28 dias	27560	35,80	37,61	35,80	36,71	2,18%
Lab 4	28 dias	28950	37,61				
Lab 5	28 dias	22070	29,26	47,58	29,26	38,42	21,14%
Lab 5	28 dias	36623	47,58				
Lab 6	28 dias	29688	38,57	46,13	38,57	42,35	7,91%
Lab 6	28 dias	34793	46,13				
Lab 7	28 dias	31259	41,44	47,90	41,44	44,67	6,41%
Lab 7	28 dias	36128	47,90				
Referência	28 dias	37350	49,52	49,52	48,53	49,02	0,90%
Referência	28 dias	35860	48,53				
<b>Obra</b>	<b>28 dias</b>		<b>38,90</b>	<b>41,80</b>	<b>38,90</b>	<b>40,35</b>	<b>3,19%</b>
<b>Obra</b>	<b>28 dias</b>		<b>41,80</b>				



**Figura 4.1. Resistências à compressão referentes à primeira moldagem.**

Observando-se a Tabela 4.1 e o gráfico (Figura 4.1) nota-se que os resultados apresentados pelos laboratórios participantes estão fora da faixa de referência contida entre as duas linhas pretas, sendo a resistência obtida pelo laboratório da obra igual a 41,80 MPa.

A última coluna da Tabela 4.1 mostra o coeficiente de variação do ensaio, segundo ABNT NBR 5739:2007, para cada laboratório. Tem-se a seguinte classificação:

**Tabela 4.2. Classificação do ensaio segundo ABNT NBR 5739:2007.**

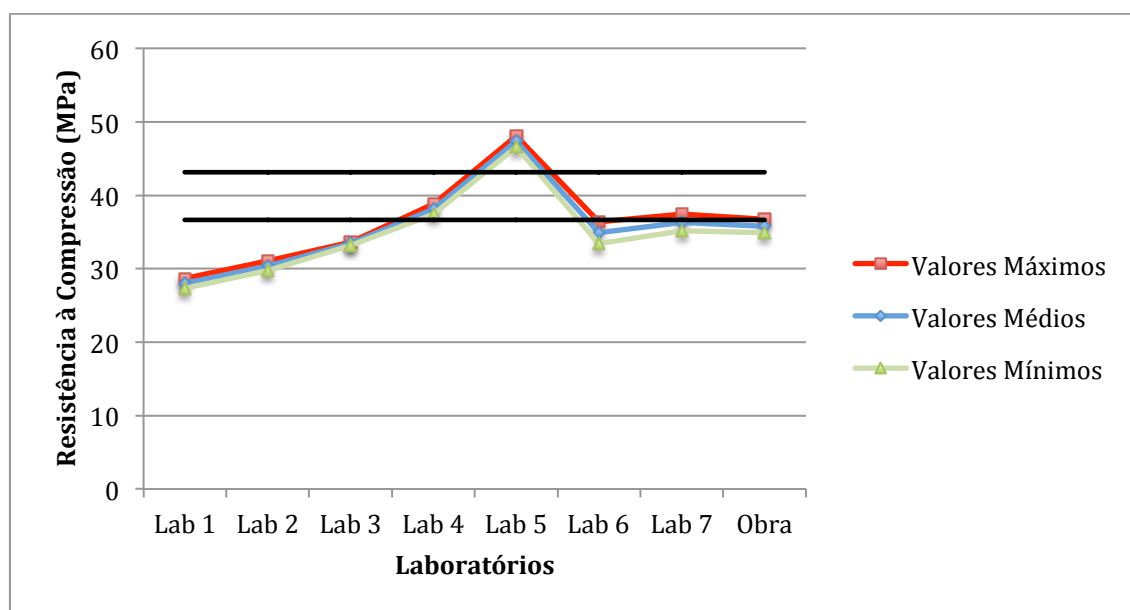
Nível (coeficiente de variação) – descrição	Laboratórios
1 ( $cve \leq 3$ ) – Excelente	Laboratórios 3, 4 e de referência
2 ( $3 < cve \leq 4$ ) – Muito Bom	Laboratório da Obra
3 ( $4 < cve \leq 5$ ) – Bom	-
4 ( $5 < cve \leq 6$ ) – Razoável	-
5 ( $cve > 6$ ) – Deficiente	Laboratórios 1, 2, 5, 6 e 7

#### **4.2.2 SEGUNDA MOLDAGEM**

A Tabela 4.3 apresenta os resultados das rupturas dos corpos de prova, além do coeficiente de variação de cada um dos laboratórios participantes para a segunda amostragem. A Figura 4.2 é a representação gráfica dos resultados referentes à Tabela 4.3.

**Tabela 4.3. Resultados de ruptura da segunda amostragem.**

Laboratório	Idade da Ruptura	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência (Mpa)	Valor Máximo (Mpa)	Valor Mínimo (Mpa)	Valor Médio (Mpa)	Coefficiente de Variação segundo ABNT NBR 5739:2007
Lab 1	28 dias	21441	27,30	28,67	27,30	27,99	2,17%
Lab 1	28 dias	22070	28,67				
Lab 2	28 dias	24378	31,04	31,04	29,79	30,41	1,82%
Lab 2	28 dias	23397	29,79				
Lab 3	28 dias	25880	33,62	33,62	33,17	33,39	0,60%
Lab 3	28 dias	26050	33,17				
Lab 4	28 dias	29400	37,43	38,79	37,43	38,11	1,58%
Lab 4	28 dias	29260	38,79				
Lab 5	28 dias	37024	48,10	48,10	46,63	47,36	1,37%
Lab 5	28 dias	36623	46,63				
Lab 6	28 dias	26240	33,41	36,39	33,41	34,90	3,78%
Lab 6	28 dias	28580	36,39				
Lab 7	28 dias	27599	35,14	37,43	35,14	36,28	2,80%
Lab 7	28 dias	29398	37,43				
Referência	28 dias	33880	43,14	43,14	36,61	39,87	7,26%
Referência	28 dias	28180	36,61				
<b>Obra</b>	<b>28 dias</b>		<b>34,90</b>	<b>36,70</b>	<b>34,90</b>	<b>35,80</b>	<b>2,23%</b>
<b>Obra</b>	<b>28 dias</b>		<b>36,70</b>				



**Figura 4.2. Resistências à compressão da segunda amostra.**

A análise da Figura 4.2 permite observar que apenas os Laboratórios 4, 7 e o da Obra apresentaram resultados dentro da faixa de valores tida como referência, sendo a resistência obtida pelo laboratório da obra igual a 36,70 MPa.

A última coluna da Tabela 4.4 mostra o coeficiente de variação do ensaio, segundo ABNT NBR 5739:2007, para cada laboratório. Tem-se a seguinte classificação:

**Tabela 4.4. Classificação do ensaio segundo ABNT NBR 5739:2007.**

Nível (coeficiente de variação) – descrição	Laboratórios
1 ( $cve \leq 3$ ) – Excelente	Laboratórios 1, 2, 3, 4, 5 e Laboratório da Obra
2 ( $3 < cve \leq 4$ ) – Muito Bom	Laboratório 6
3 ( $4 < cve \leq 5$ ) – Bom	-
4 ( $5 < cve \leq 6$ ) – Razoável	-
5 ( $cve > 6$ ) – Deficiente	Laboratório de Referência

Como já comentado, foram verificadas as condições de homogeneidade dos corpos de prova por meio da medição de suas dimensões e massa. Os resultados estão apresentados em anexo a este trabalho e não justificam grande variabilidade de resultados observada.

As principais causas prováveis para justificar tamanha variação são as condições de topo dos corpos de prova e o método de regularização utilizado, o neoprene confinado. Estudos mostram que os resultados obtidos com a utilização de neoprene não são tão satisfatórios quando os resultados obtidos com métodos tradicionais de capeamento.

Além desse fator, observaram-se irregularidades no corpo de prova devidas ao procedimento de adensamento. Essas irregularidades não foram levantadas, portanto não se pode afirmar as causas de tamanha variabilidade, apenas foram feitas suposições. Outra variável que influencia nos resultados, mas que também não foi levantada, é a velocidade do ensaio.

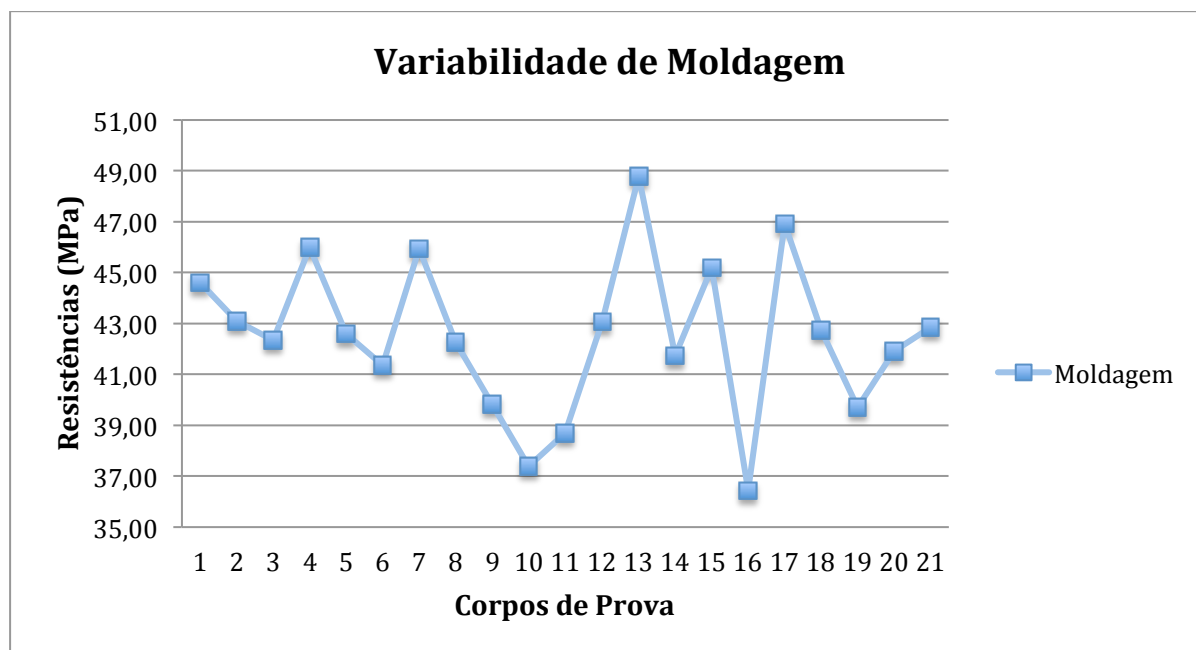


### 4.3 RESULTADOS DO ESTUDO REFERENTE À VARIABILIDADE DE MOLDAGEM

A Tabela 4.5 e a Figura 4.3 mostram a resistência dos corpos de prova moldados para verificação da variabilidade resultante do processo de moldagem. Esses resultados foram obtidos a partir da ruptura dos corpos de prova no LEM/UnB.

**Tabela 4.5. Resultados de ruptura da terceira moldagem, referente ao estudo de variabilidade de moldagem.**

CP	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
1	34340	44,61
2	32510	43,10
3	33920	42,34
4	33980	45,98
5	33460	42,60
6	32480	41,35
7	36080	45,94
8	33200	42,27
9	31290	39,84
10	29360	37,38
11	31000	38,69
12	33150	43,06
13	36060	48,80
14	32140	41,75
15	35500	45,20
16	28620	36,44
17	36860	46,93
18	33570	42,74
19	31180	39,70
20	32930	41,93
21	33650	42,84
<b>Média</b>		<b>42,55</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>3,09 MPa</b>



**Figura 4.3. Resultados referentes à variabilidade de moldagem.**

Para avaliação deste resultado foi usado o critério apresentado por HELENE e TERZIAN que está descrito no item 3.4.1 deste trabalho. Para essa série, o desvio padrão calculado equivale a 3,09 MPa, abaixo do limite inferior igual a 3,12 MPa. Caso sejam utilizados apenas dois algarismos significativos tem-se que o desvio padrão é igual ao limite inferior estabelecido de 3,1 MPa.

Segundo classificação da ACI 214:1989, o resultado obtido para o desvio padrão da amostra é considerado Muito Bom.

Se for considerado o critério da ABNT NBR 12655:2006 sobre o desvio padrão de dosagem, esse deve ser considerado 4 MPa. Segundo o critério apresentado por HELENE e PACHECO, esse valor não deve ultrapassar 5,48 MPa, portanto encontra-se dentro de uma faixa aceitável.

#### **4.4 VARIABILIDADE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO “CONCRETO PADRÃO”**

Foram coletados na obra todos os resultados já obtidos de moldagem com a mesma equipe (fornecedor do material e laboratório de controle tecnológico). As Tabelas A6 e A7 dos ANEXOS mostram os resultados obtidos por data. A primeira mostra os valores máximos

e a segunda os valores mínimos obtidos através da média aritmética. Para análise dos dados foram utilizados os valores de resistência característica à compressão do “concreto padrão” da obra determinada de acordo com o procedimento descrito no item 3.5 deste trabalho. Para esta etapa conta-se com um total de 17 datas de concretagem e 172 caminhões, sendo que cada data foi considerada um lote.

Para esse processo o desvio padrão calculado vale 4,00 MPa, exatamente igual ao desvio padrão definido na ABNT NBR 12655:2006 para a classe de concreto C35, igual a 4,00 MPa.

**Tabela 4.6. Resistência característica à compressão para verificação da conformidade do "concreto padrão" da obra.**

Dia	$f_{ck,est}$ (MPa)
1	36,9
2	35,7
3	41,8
4	35,9
5	38,2
6	37,9
7	32,3
8	42,6
9	30,0
10	32,3
11	35,8
12	32,9
13	27,7
14	33,1
15	30,5
16	37,5
17	34,0

A partir destes resultados, pode-se observar que oito dos lotes necessitariam de verificações adicionais para sua aceitação. Isso representa 47% das datas de concretagem utilizadas como objeto de estudo neste trabalho.

## 4.5 AVALIAÇÃO DA ACEITAÇÃO FINAL DO CONCRETO

A aceitação final do concreto se dá após o recebimento do relatório de ruptura dos corpos de prova. O critério adotado pela obra se dá de acordo com a seguinte equação:

$$f_{ck} \leq f_{cm28}$$

Onde:

$f_{ck}$  = resistência característica determinada no projeto estrutural; e

$f_{cm28}$  = maior resistência obtida através do ensaio de ruptura dos corpos de prova.

Este critério é aplicado para cada um dos caminhões betoneira, ou seja, para cada lote. Podemos observar que, segundo esse critério, dez dos caminhões amostrados seriam rejeitados. Segundo critério descrito no item 3.5 deste trabalho, dezoito dos caminhões seriam rejeitados.

Essa análise mostra que o critério de aceitação utilizado pela obra se mostrou insatisfatório, pois resulta na aceitação de lotes que deveriam ser rejeitados, o que compromete a segurança da edificação.

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar o controle tecnológico de uma obra do Distrito Federal. Para tal, foram analisados diversos aspectos a respeito de todo o procedimento no que se refere ao controle tecnológico de concreto.

O primeiro foi o procedimento realizado no momento do recebimento do concreto. Ao se comparar o procedimento observado na obra com o descrito em norma, não foi observada nenhuma desconformidade. De acordo com o que foi observado neste trabalho, o procedimento de aceitação preliminar realizado pela obra em estudo respeita o procedimento de norma.

Outro aspecto observado foi a confiabilidade dos resultados obtidos pelo laboratório responsável pelo controle tecnológico da obra a partir do ensaio de ruptura à compressão dos corpos de prova moldados no canteiro. O principal parâmetro de análise foi a resistência dos corpos de prova utilizados. Além disso também foi avaliado o coeficiente de variação dos ensaios.

Observa-se que, na primeira amostra, muitos valores de resistência ficaram fora da região tida como referência, que foi definida a partir dos resultados obtidos no laboratório de controle. Cinco dos laboratórios apresentaram coeficiente de variação do ensaio que revelaram deficiência.

Na segunda amostra os valores de resistência ficaram mais próximos da referência, mas isso pode ser devido ao fato de que os valores de referência ficaram mais distantes. O coeficiente de variação do ensaio do laboratório de controle foi o único deficiente.

As Figuras 4.1 e 4.2 permitem a visualização dos resultados dos ensaios de ruptura. Tendo em vista que qualquer falha no processo pode resultar em redução de resistência dos corpos de prova, esperamos que os maiores valores representem a resistência potencial do concreto de maneira mais satisfatória.

O laboratório que realiza o controle tecnológico da obra apresentou resultados muito distantes da referência na primeira amostra e um resultado dentro da faixa de valores de referência na segunda amostra. Levando-se em consideração que os resultados do laboratório de controle foram considerados deficientes, tem-se que o laboratório da obra apresenta possíveis falhas em seus procedimentos.

Para avaliar a interferência do processo de moldagem dos corpos de prova nos resultados obtidos, foi feito um estudo para determinação do desvio padrão referente a essa etapa, especificamente.

Observou-se um desvio padrão de moldagem igual a 3,09 MPa. Tendo em vista que, segundo os critérios adotados neste trabalho, o desvio obtido é igual ao limite mínimo utilizado como referência, temos que o procedimento de moldagem não interferiu de maneira significativa nos resultados obtidos.

Também foi avaliado o processo de produção e controle do concreto padrão em sua totalidade através de dados obtidos na obra das concretagens a partir de 8 de abril de 2014. Esse concreto foi fornecido pela mesma central e ensaiado pelo mesmo laboratório em todas as ocasiões.

O desvio padrão encontrado foi de 4,00 MPa, exatamente igual ao desvio padrão de dosagem encontrado em referências normativas. Levando-se em conta esse aspecto, podemos observar coerência nos resultados obtidos.

Apesar da coerência no desvio padrão, nesta etapa foi observado que a empresa fornecedora do concreto forneceu lotes de concreto com resistência característica estimada abaixo da resistência característica de projeto. Isso revela baixa qualidade no material fornecido.

Por fim foi analisado o critério de aceitação final do concreto utilizado pela obra, item que pode causar grandes prejuízos à segurança da estrutura. Ficou mostrado que o critério adotado pela obra, em muitos momentos, não respeita o critério especificado pela norma. Alguns lotes com resistência abaixo do valor de referência foram aceitos.

Existem muitos aspectos satisfatórios em relação a todo o processo que foi analisado porém, existem critérios que colocam em risco a segurança da edificação.

Não se pode concluir com esse estudo a razão da grande variabilidade de resultados que foi detectada. Tem-se que a produção do concreto, a produção dos corpos de prova e suas características físicas (dimensões e massa) não são fonte de discrepâncias.

O concreto que é fornecido regularmente à obra em estudo é um concreto de baixa qualidade em relação à sua resistência. O critério de aceitação preliminar do concreto foi considerado satisfatório, porém a principal razão para que seja fornecido um concreto de baixa qualidade em relação à resistência é o critério de aceitação final utilizado pela obra, que permite aceitação de lotes com resistência abaixo do valor de referência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. (1989) *Recommended Practice for Evaluation of Strength. Test Results of Concrete*. ACI 214.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1993) *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. ASTM C 125-93.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. *Manual do Concreto Dosado em Central*. São Paulo, 2007. Disponível em <[www.abesc.org.br](http://www.abesc.org.br)>. Acesso em: jul. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Adensamento do Concreto por Vibração*. Dezembro 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2009) *Agregados para concreto – Especificação*. NBR 7211.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2011) *Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos*. NBR 11768.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1993) *Cimento Portland branco – Especificação*. NBR 12989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1997) *Cimento Portland composto – Especificação*. NBR 11578.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1991) *Cimento Portland comum*. NBR 5732.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1991) *Cimento Portland de alta resistência inicial*. NBR 5733.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1991) *Cimento Portland de alto forno*. NBR 5735.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1991) *Cimento Portland pozolânico*. NBR 5736.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1992) *Cimentos Portland resistentes a sulfatos*. NBR 5737.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1998) *Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. NBR NM 67.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2006) *Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento*. NBR 12655.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2007) *Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. NBR 5739.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2009) *Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. NBR 8953.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2003) *Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. NBR 5738.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2012) *Execução de concreto dosado em central – Procedimento*. NBR 7212.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2010) *Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico*. NBR NM ISO 3310-1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2014) *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. NBR 6118.

CLUBE DO CONCRETO. O que é Slump Test (ensaio de abatimento), 2013. Disponível em < <http://www.clubedoconcreto.com.br/>>. Acesso em: nov. 2014.

COUTINHO, J. S. *Ensaio do Betão Fresco*. Luanda, Angola, 2003. Disponível em <<http://estudanteuma.com/>>. Acesso em: ago. 2014.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. (1991) *Testing concrete; testing of fresh concrete*. DIN 1048-1.

HELENE, P; TERZIAN, P. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto*. Editora PINI, São Paulo, 1993.

HELENE, P.; PACHECO, J. *Boletín Técnico 9 – Controle da Resistência do Concreto*. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int.

IBGE. Sistemas de Contas Nacionais Brasil. *Taxa % De Crescimento Do PIB Total, VAB Construção Civil E Participações %*. Banco de Dados – CBIC, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*, IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. Trad. Salvador E. Giammuso. 2ª ed. ver. Atual. Editora Pini, São Paulo, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. *Tecnologia do Concreto*. Trad. Ruy Alberto Cremonini. 2ª ed. Porto Alegre, Bookman, 2013.

SOLOCAP. *Equipamentos*. Disponível em < <http://www.solocap.com.br/>>. Acesso em nov. 2014.

## ANEXOS

**CARACTERÍSTICAS DOS CORPOS DE PROVA:** Antes da ruptura, foram medidas as dimensões (altura e diâmetro) e a massa dos corpos de prova que foram rompidos à idade de 28 dias. A Tabela A1 apresenta as características obtidas para os corpos de prova da primeira amostragem e a Tabela A2 apresenta as características obtidas da segunda amostragem. A Tabela A3 apresenta as características obtidas na terceira moldagem, referentes ao estudo da variabilidade de moldagem.

**Tabela A 1. Características dos corpos de prova referentes à primeira amostragem.**

Laboratório	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (kg)
Lab 1	9,80	20,00	3,67
Lab 1	9,70	20,30	3,77
Lab 2	9,90	20,00	3,74
Lab 2	9,90	20,30	3,80
Lab 3	9,70	20,10	3,65
Lab 3	9,80	20,00	3,72
Lab 4	9,90	20,00	3,76
Lab 4	9,90	20,00	3,78
Lab 5	9,90	20,20	3,72
Lab 5	9,90	20,10	3,77
Lab 6	9,80	20,00	3,72
Lab 6	9,90	20,10	3,73
Lab 7	9,90	20,00	3,72
Lab 7	9,80	19,80	3,66
Lab 8	9,80	20,00	3,75
Lab 8	9,80	20,10	3,77
UnB	9,80	20,20	3,71
UnB	9,70	19,80	3,72

**Tabela A 2. Características dos corpos de prova referentes à segunda amostragem.**

Laboratório	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa (kg)
Lab 1	10,00	19,90	3,71
Lab 1	9,90	20,00	3,72
Lab 2	9,90	19,90	3,67
Lab 2	10,00	20,00	3,75
Lab 3	10,00	20,00	3,74
Lab 3	10,00	20,00	3,74
Lab 4	9,90	20,00	3,70
Lab 4	10,00	20,00	3,71
Lab 5	10,00	19,90	3,74
Lab 5	9,80	19,90	3,71
Lab 6	9,90	19,80	3,72
Lab 6	10,00	20,00	3,74
Lab 7	10,00	19,90	3,68
Lab 7	10,00	19,80	3,71
Lab 8	10,00	19,90	3,74
Lab 8	10,00	20,00	3,75
UnB	10,00	20,00	3,77
UnB	9,90	19,90	3,68

**Tabela A 3. Características dos corpos de prova referentes à variabilidade de moldagem.**

CP	Massa (kg)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)
1	3760,00	9,90	20,00
2	3750,00	9,80	20,00
3	3705,00	10,10	20,10
4	3730,00	9,70	20,00
5	3705,00	10,00	20,00
6	3710,00	10,00	20,20
7	3750,00	10,00	20,00
8	3690,00	10,00	20,00
9	3735,00	10,00	20,00
10	3690,00	10,00	20,00
11	3650,00	10,10	20,30
12	3715,00	9,90	19,90
13	3745,00	9,70	20,00
14	3670,00	9,90	20,00
15	3740,00	10,00	20,00
16	3690,00	10,00	20,00
17	3710,00	10,00	20,00
18	3765,00	10,00	20,00
19	3630,00	10,00	20,20
20	3715,00	10,00	19,90
21	3685,00	10,00	20,10

**PROCESSO DE PRODUÇÃO DO “CONCRETO PADRÃO”:** As Tabelas A6 e A7 mostram os dados obtidos na obra referentes a todo o processo de produção do concreto utilizado na obra.

**Tabela A 6. Valores máximos de resistência do processo de produção de concreto.**

Valores Máximos																
Data de Moldagem																
08/04	29/04	09/05	13/05	16/05	23/05	04/06	11/06	18/06	20/06	27/06	01/07	11/07	23/07	05/08	12/08	28/08
42,20	42,80	46,90	38,60	39,00	43,20	48,80	43,70	45,90	36,40	41,40	34,40	39,20	43,00	36,10	41,80	36,70
41,80	45,20	47,40	40,50	41,60	44,50	38,70	45,50	49,50	34,00	42,10	36,90	46,80	36,70	32,60	42,90	36,10
42,80	41,90	47,50	39,30		42,10	37,90	45,10	49,40	36,90	39,80	41,40	41,70	36,50	34,80	39,10	36,90
42,30	35,70	44,10	38,00		44,40	38,90	48,40	39,30	40,00	38,80	49,60	45,70	40,60	34,20	38,20	38,00
43,00	43,10		40,70		46,70	43,60	50,50	43,50	39,10	41,70	35,70	42,90	38,20	35,70	43,80	45,60
40,80	44,00		38,80		40,60	46,70	46,30	46,10		36,70	41,00	43,60	35,90	37,30	42,50	47,20
37,30	40,50		43,80		44,10	38,90	48,00	40,70		39,20	43,40	38,60	37,40	43,90	41,90	38,30
42,40	39,50		42,20		40,80	40,80	48,80	41,70				38,10	37,90	34,80	43,80	38,20
39,50	42,70		41,90		45,00	39,90	47,80	47,70				28,00	39,80	30,90	39,80	37,90
41,10	44,10		44,80		43,00	47,40	45,50	44,20				38,20	36,40			36,60
42,00	43,90		40,10		40,80	33,70		46,40				38,60	35,20			37,50
40,90	46,20		38,10		38,20			31,10								36,40
39,80	44,60		38,80													37,90
40,60	44,10		39,50													37,30
40,20	42,40		37,90													38,10
38,20	39,40															

**Tabela A 7. Valores mínimos de resistência do processo de produção de concreto.**

Valores Mínimos																
Data de Moldagem																
08/04	29/04	09/05	13/05	16/05	23/05	04/06	11/06	18/06	20/06	27/06	01/07	11/07	23/07	05/08	12/08	28/08
41,10	41,60	44,20	36,10	38,20	41,00	46,30	42,60	43,70	36,40	41,20	32,90	38,10	41,60	35,20	38,90	34,90
41,50	44,50	47,00	38,40	38,70	41,20	38,20	42,70	46,50	32,30	40,90	34,90	43,60	35,70	31,80	40,10	35,70
40,20	40,80	46,40	36,40		39,90	37,10	43,90	48,50	36,40	38,10	39,10	39,40	36,30	33,20	37,70	34,00
41,30	34,60	41,80	37,60		44,20	35,70	46,40	38,30	37,60	38,00	47,60	43,30	37,10	32,60	37,80	36,30
42,20	42,50		39,70		43,70	42,30	46,40	42,10	38,90	36,00	35,30	41,10	36,90	34,40	40,80	44,00
38,70	43,70		37,90		38,50	45,80	45,70	44,80		35,80	38,30	42,10	34,80	36,10	42,20	45,90
36,90	37,50		42,30		43,00	37,40	45,10	40,70		38,60	42,70	38,00	37,30	40,20	39,80	37,20
40,70	37,60		41,90		39,60	39,30	46,10	40,00				37,30	36,30	33,60	42,50	36,90
39,50	39,30		38,70		44,30	37,10	45,80	47,40				27,70	36,90	30,50	37,50	36,90
40,90	43,40		43,40		41,80	46,70	45,00	43,70				38,00	34,30			35,80
41,30	41,00		38,80		39,30	32,30		45,50				38,10	33,10			37,20
39,50	45,00		36,60		37,90			30,00								35,80
38,70	44,20		37,60													36,40
39,10	42,10		37,40													35,90
40,20	41,70		35,90													36,50
36,50	37,30															